

## 学位論文題名

## Design of Intelligent Autonomous Agents Systems

(知的自律エージェントシステムに関する研究)

## 学位論文内容の要旨

本論文は自律エージェント群から構成されたシステムの設計法及びこの新たなパラダイムが含む課題について実験的に考察している。本論では自律エージェントはローカルな問題観測と他のエージェントから独立した自己意志決定権を持つ計算ユニットの総称と定められている。また、自律エージェント群による問題解決は問題の各局面に応じて組織を適応的に変化させることによって行うものと定めている。つまり、自律エージェント群の組織が問題解決プロセスに対応するものと定義されており、システムは問題とのインタラクションを通じて自己の組織を変えながら動的な問題の各局面を処理してゆくものと定められている。本論では、このシステムの具現化による相互問題変化監視による動的環境下での即応性、柔軟な問題解決機構、システムデッドロックへの頑健性等の大幅なアドバンテージへ注目している。ところが現在、このシステムに関する設計理論はもちろんのこと自律エージェントの機構やエージェント間の相互作用のプログラム表現方法さえも確立されていないことが指摘されている。その最大の理由として、対象問題領域の動的性の為、問題領域に特化した相互関係生成が許されないことを挙げている。問題が特定されている場合には設計者が問題を解析して適切な組織推移をインプリメントすればよいのに対し、対象が未知情報を含むためにこの従来法では十分能力を持つシステムの構築困難が予想されている。これは逆に、この新たなシステムの一般性をふまえた具現化は上記した問題解決能力の向上のみならず、システムデザイナーの過酷な解析的設計プロセスを改善することにもつながることを示している。

具体的なアプローチが全く確立していないといえる現状においては、このシステムをデザインする為には2つの設計について考察する必要があると指摘されている。一つは自律エージェント群が生成可能な組織集合が問題の各局面を処理可能な組織を被覆する為の仕様設計である。もう一方は、問題の各局面に対して適切な組織を生成する適応性の設計が必要である。2番目の設計は深刻な課題を抱える。その課題は一つのメタシステムによってこの組織コントロールが行われるわけではなく、自律したエージェント群による相互作用の結果として実現されなければならない為である。しばしば、相互関係は時空要素を含むと考えられこのマネージメントが一層困難なものなることを指摘している。

まず第一に本論では、自律性に注目している。まず、自律性をシステムが自己の内部状態を一定に保つことと定義している。これによってシステムと問題解決を対比させることができ、上記第二課題はシステムの自律性を達成するために如何に各自律エージェントをデザインすればよいかという課題に置換される。

次に、新たなエージェントデザインとしてIntelligenceとResponsibilityを提案する。この

2概念をふまえ設計することによって、実際に問題を処理しながら適切な相互関係を獲得、再利用新たな組織の発見が可能であると考えられている。本論では特にIntelligenceに着目している。Intelligenceは自律性を向上させる新たな知識の自己発見機構と定めている。さらにこれを4種に分類している。またIntelligenceをもつエージェントシステムを特にIAASと呼んでいる。本論文は7章から構成されており、複数の異なる動的問題へ異なるIntelligenceをふまえIAASを実際に設計している。これによって上設計概念が妥当でかつ汎用性があることを主張している。

第1章では、本論文の全体構成について述べている、

第2章では、Sensingの概念を取り入れることによって自律性およびRecognitionをシンプルにデザインすることが可能であることを示している。次にIAASの構造が周期性をもつことをのべており、上記Intelligenceが実行可能であることを述べている。また具体的なエージェントインプリメント手法として学習や適応という関連領域についてのサーベイを行っている。

第3章では、位相差顕微鏡像におけるタマホコリカビの領域抽出に対して基礎モデルを構築してIAASとエージェントの関係を明らかにしている。またシステムとしての自律性が妥当であることを示唆している。

第4章では伝統的な工学的問題に対してResponsibilityに着目したIAASをデザインしている。組み合わせ問題というAI論が取り組んで来た問題へのインプリメントと試み、IAASの妥当性を検証している。ここでは組み合わせ問題としてTSPを取り扱っている。ここではオフィシャルデータのみならず、実時間上で都市位置が変化する特殊な課題にも取り組んでいる。このIAASがオフィシャルデータに対し妥当なレベルの解を探索することができる上、動的な環境変化に十分な追従が可能であることを実験的に示している。

第5章では、2,3種に分類されるIntelligenceをもつIAASを動的な環境として代表的な多人数から構成されたチームゲームにインプリメントしてIAASの動的問題への適応能力の高さを示している。

第6章では4種に分類されるIntelligenceをもつIAASを動的な環境としてサッカーゲームにインプリメントしてIAASの動的問題への適応能力の高さを示している。またここでは自律エージェント間のコミュニケーションを扱っており、IAASとしての予測機構を実現している。特にここではIAASにおいて場を介したコミュニケーションが有効であること、またこの際、コミュニケーションプロトコルを予め設計者が規定する必要がないことを示している。記号空間操作のみが与えられたエージェント群によって意味空間が創発されることを実験的に示している。またエージェント間に予め階層性や並列性を設計者が予め与えなくても妥当な構造が発生することを実験的に示している。

第7章では上記でおこなったモデル群をまとめ将来に残した課題について述べている。多数のエージェントからなるIAAS構築の必要性とこれへのアプローチとして全IntelligenceおよびResponsibilityのハイブリッド化について述べている。

以上の実際的な設計を通じて自律性、Intelligence、ResponsibilityがIAAS設計において重要な概念であることを示している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇  
副 査 教 授 宮 本 衛 市  
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

## Design of Intelligent Autonomous Agents Systems

(知的自律エージェントシステムに関する研究)

近年、情報処理分野でエージェントという概念が取り入れられ、様々な問題領域においてコレクティブに問題解決へアプローチする手法が試みられてきている。コレクティブアプローチの持つ特徴として動的環境下での即応性、柔軟な問題解決機構、問題解決過程におけるデッドロック状況に対する頑健性等といった点において優位性を持っている。しかしながら、問題対象のモデル化が困難な場合や動的に問題環境が変動する場合において、如何にして効果的なエージェントシステムの構築を行うか明確な手法が与えられてきていない。特に高い柔軟性と解決能力を持つと期待される分散型エージェント群の組織的活動による自律的問題解決へのアプローチは、これまでにほとんど手が付けられてこなかった。本論文はこのような問題に対し、分散型コレクティブアーキテクチャを基本とし、付与された問題環境に対して、適応的かつ自律的な振る舞いと創発的な組織化によって問題解決を図るための様々な知的自律エージェントシステムの構築設計手法を展開している。すなわち、その主要な成果は、次の4点に要約される。

1. 分散型コレクティブアーキテクチャを基本とした知的自律エージェントシステムが具備すべき要件に関して、動的な環境とのインタラクティブな関わりという面から捉え直し、特にIntelligenceとResponsibilityの面から定式化した議論を行なっている。この議論を通して、各エージェントの自律的活動可能領域の同定過程における創発的振る舞いの性質、すなわち自己更新機能の設計手法の重要性を明らかにしている。

2. 創発的組織化を通して問題解決を図る場合に、集団としての意思統一と分権を図ることの重要性を指摘するとともに、従来の強化学習の枠組みを拡張した提案手法によって、分業性をもった組織化の創発が可能となることを示している。

3. 変動的な問題領域においては、意思統一の遅延性が克服すべき問題点であることを取り上げ、この課題に対し、従来の強化学習の枠組みに加え、コミュニケーションの概念を導入した新たな意志統一系の設計手法について提案を行っている。特にコミュニケーションの媒体としてPPS(Primitive Potential Scheme)と呼ぶ場を利用した表現手法を提案し、これをさらに変動環境とのインタラクションにも用いることによって、状況に応じて変化するフォーメーション生成が行えることを確かめている。とくにこのPPSを用いた手法では、組織的活動を行うためのコミュニケーションプロトコルを設計者が予め規定することなく、エージェントが群の自律的相互作用を通じて創発的に意味空間が創発されることを示している。また学習過程において必要なインタラクションの因果関係を、インスタンスとしてのPPS群に対する各エージェントの利用履歴として用いることによって、通常では学習が困難な時間発展的役割分担としてのフォーメーション生成を可能としている。

4. 以上の提案手法を、最適化問題、画像処理問題等への工学的応用を図り、その有効性を確認している。最適化問題の一例として組み合わせ最適化問題であるTSPを取り上げ、オフィシャルデータのみならず、実時間上で都市位置が変動する問題にも取り組んでいる。これらの結果からオフィシャルデータに対し妥当なレベルの解探索能力を実現するとともに、動的変動環境下における問題においても提案するコレクティブなアプローチが有効であることが確かめられている。さらに、提案手法の有効性を効果的に

検証する場として、様々な制約条件下での知的自律エージェントシステムの相互対戦型ゲーム環境を取り上げ、自律活動領域の同定過程、組織的分業やフォーメーションの生成過程に関する議論と検討を行うことによって所望するコレクティブ指向の問題解決システム設計に対する重要な知見を得ている。

以上のように本論文は、分散型エージェント群の組織的活動による自律的問題解決へのアプローチを実現するための様々な設計概念および設計手法に関して提案を行い、従来困難であった動的時間変化を伴う問題への知的自律エージェントシステムによる解決に関する新知見を得ており、情報工学、知識工学の進歩に寄与するところ大である。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。